



## Riómetros: red SARiNet en Argentina, observaciones y procesamiento de datos

R. E. Garcia<sup>1,2</sup>, J. C. Gianibelli<sup>1,3</sup>, G. D. Rodriguez<sup>1,2</sup>, P. Sallago<sup>1</sup>, K. Makita<sup>4</sup> y N. Quaglino<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP. [regarcia@fcaglp.unlp.edu.ar](mailto:regarcia@fcaglp.unlp.edu.ar)

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería, UNLP.

<sup>3</sup> Servicio Meteorológico Nacional.

<sup>4</sup> RED SARINET - Takushoku University, Japón.

### Resumen

La red SARINET (South America Riometer Network) es una red de ríómetros (radio ionospheric opacity meter) de la Universidad de Takushoku (Tokio, Japón) ubicada en Sudamérica para investigar la ionósfera y principalmente los efectos que sobre ella producen la precipitación de partículas energéticas, los cuales se ven incrementados por la presencia de la anomalía magnética del Atlántico sur (AMAS). La red posee actualmente 12 ríómetros operativos, cinco de los cuales se han instalado por gestión y con participación del Departamento de Geomagnetismo y Aeronomía de la Facultad de Cs. Astronómicas y Geofísicas de la UNLP, en distintas instituciones de la Argentina.

En el presente trabajo se repasan los principios de funcionamiento de los ríómetros, enfocándose particularmente en los de haz cenital y los de haz direccionable (ríómetros 2D) emplazados en nuestro territorio. Se aborda, a modo de ejemplo, el procesamiento de datos de las mediciones sobre un evento en particular, observándose los resultados que son posibles de obtener.

**Palabras clave:** Ríómetro, Ionósfera, AMAS, SARiNet

### Introducción

El plasma que conforma la ionósfera se presenta estratificado en capas denominadas por las letras D, E y F, debiéndose esto a la variación de la densidad de especies atómicas con la altura y a los diferentes grados de penetración de los agentes ionizantes.

Diferentes técnicas de radio son y fueron utilizadas para el estudio de la ionósfera, cada una con sus distintos alcances, así por ejemplo tenemos desde los radares de dispersión incoherente que son los que brindan la más completa información hasta las ionosondas y ríómetros que posibilitan estudios más limitados (Hunsucker, 1991). Los ríómetros son instrumentos utilizados para el estudio de la baja ionósfera, la cual está conformada por las capas E y D. La capa E se caracteriza por encontrarse a una altura entre los 90 y los 130 km aproximadamente con preponderancia de iones  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $O$  y  $NO$  pudiendo también poseer iones metálicos de origen meteorítico. La capa D es la más baja de la ionósfera ubicándose entre los 60 y los 90 km y se puede considerar la porción más compleja de la ionósfera por la gran variedad de especies atómicas que posee y que están sometidas a alta presión comparada con otras capas. En esta capa pueden hallarse densidades electrónicas del orden de  $10^3 cm^{-3}$ . Por otro lado los procesos de ionización de las capas D y E son dependientes de la latitud. Para bajas y medias latitudes existen dos fuentes de ionización, una fuente solar (radiación y los rayos cósmicos) y otra fuente externa (rayos cósmicos galácticos). En condiciones normales, la principal fuente de ionización por debajo de 65 km son los rayos cósmicos. A partir de alrededor de los 85 km la radiación Lyman- $\alpha$  se convierte en la principal fuente de fotoionización de  $NO$  (1100-1300 Å), y por encima de este punto, la fotoionización se debe a los rayos X solares con longitud de onda menores a los 100 Å

y también a la radiación ultravioleta con una longitud de onda menor a los 1030 Å. (Banks y Kockarts, 1973a) (Figura 1).

En altas latitudes, a los procesos antes mencionados se le suman los de ionización por precipitación de partículas de alta energía desde la magnetosfera, en especial durante períodos perturbados. Entre los fenómenos relacionados que suelen aparecer se pueden mencionar: esporádicas E, emisiones aurorales, sustancial aumento de la densidad de electrones y cambios en la absorción de rayos cósmicos (Ogawa et al., 1978).

Para el caso de la zona de la Anomalía Magnética del Atlántico Sur (AMAS) se requiere un estudio especial ya que a los procesos de latitudes bajas se le deben sumar los procesos por precipitación de partículas desde los cinturones de radiación, proceso que se intensifica en períodos geomagnéticamente activos (Zimuda., 1966).

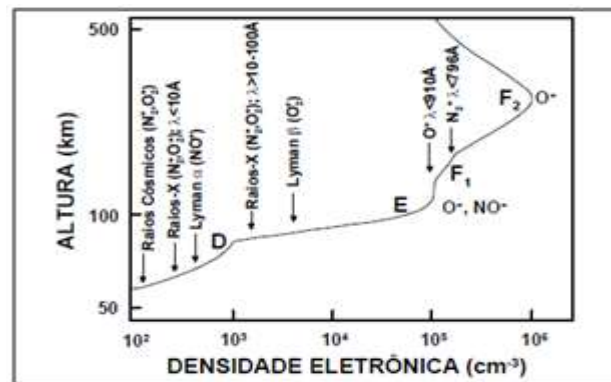


Fig. 1 Principales fuentes de ionización  
(Banks e Kockarts 1973)

### Riómetros. Principio de funcionamiento

Cuando una onda electromagnética atraviesa la ionósfera sufre una atenuación, principalmente en la parte baja de la misma, la cual es posible determinar aplicando la formula de Appleton-Hartree (Davies, 1990) (ecuación 1). En esta ecuación A es la atenuación en decibeles,  $N_e$  es la densidad electrónica,  $\nu$  es la frecuencia de colisión entre electrones y partículas neutras,  $\omega$  la frecuencia angular de la onda electromagnética,  $\omega_H$  la frecuencia de giro

$$A [dB] = 4,6 \cdot 10^{-5} \int \frac{N_e \nu}{\nu^2 + (\omega \pm \omega_H \cos \theta)^2} dl$$

Ecuación 1

en la dirección de propagación, el ángulo entre la perpendicular del campo magnético y la dirección de propagación y  $dl$  el diferencial de camino recorrido por la onda. El Riómetro (riometer: Radio Ionospheric Opacity Meter Extra Terrestrial Electromagnetic Radiation) es un instrumento que utiliza esta propiedad, para inferir procesos en la ionósfera baja a partir de la determinación de la absorción de ondas electromagnéticas, más precisamente la absorción de ruido cósmico.

La mejor ventana para observar el ruido cósmico en superficie corresponde al rango entre los 20 y 200 MHz optándose en general por mediciones alrededor de los 30 MHz. Un receptor midiendo dicho ruido y apuntando siempre en la misma dirección cenital, realizará por la rotación de la tierra, un barrido completo del espacio circundante obteniendo una curva de variación de intensidad en un día sidéreo. En días no perturbados, se registran curvas de absorción mínima, de los cuales estadísticamente se obtiene la Curva de Día Quieto (Quiet Day Curve QDC) (Moro et al., 2012) que es la curva de comparación para determinar cambios en la absorción debido a gradientes de densidad electrónica principalmente en la ionósfera baja.





El riómetro en líneas generales trabaja como un radiómetro, midiéndose y registrándose la potencia de ruido cósmico recibida en una determinada frecuencia. Periódicamente se realiza una calibración del sistema conectándolo a una fuente calibrada de ruido.

### Riómetro cenital simple

Los riómetros simples trabajan con una sola antena o a lo sumo un arreglo reducido de ellas observando siempre un mismo punto del cielo, midiéndose la radiación recibida por el ángulo de recepción de la antena, estudiándose la ionósfera baja interpuesta con el espacio y analizando las anomalías de absorción.

### Riómetro de imagen (2D)

Los riómetros de dos dimensiones están conformados por arreglos de antenas por medio de las cuales es posible realizar el direccionado del haz y de esta forma poder determinar absorción en distintas direcciones del espacio. Con esto se consigue un barrido de distintas secciones del zenit obteniéndose un esquema de absorción en dos dimensiones.

### La red SARiNet

La South América Riometer Network (SARiNet) es una red de riómetros perteneciente a la Universidad de Takushoku (Tokio, Japón) cuyo objetivo es el estudio de procesos ionosféricos por la precipitación de partículas en la Anomalía Magnética del Atlántico Sur (AMAS). SARiNet cuenta hoy con 12 riómetros activos entre cenitales simples y 2D, cinco de los cuales han sido emplazados en Argentina con una activa participación el Dpto. de Geomagnetismo y Aeronomía FCAG - UNLP.



Fig. 2 Distribución de estaciones de la red SARiNet. Las ubicaciones recuadradas son las que presentan riómetros 2D mientras que tachadas son las que actualmente esta fuera de servicio



Fig. 3 Riómetro cenital simple



Fig. 4 Riómetro de imagen 2D

Los riómetros cenitales simples de la red trabajan en 38,2 MHz y constan de un par de antenas lineales combinadas en fase (figura 3). En el caso de los riómetros 2D (IRIS) el sistema está compuesto por una agrupación de 4x4 antenas de dipolos (Fig. 4), también trabajando en 38,2 Mhz y alineados con el norte geográfico. Cada uno de los 16 haces con los que trabaja el instrumento posee un ángulo de potencia mitad de  $22^\circ$ , lo que permite que a 100 km de altitud, la suma de los haces individuales cubra una superficie de unos  $330 \text{ km}^2$ .



Fig 5 Absorción diaria registrada por el riómetro cenital simple de Trelew el día 13 de mayo de 2013

## Resultados

A modo de ejemplo en las figuras 5 y 6 se muestran luego del procesamiento de datos, los registros de absorción y de anomalías de absorción (desafectado el día quieto) para el riómetro cenital y de imagen respectivamente instalados en Trelew obtenidos durante la fulguración solar X2.8 ocurrida el 13 de mayo de 2013, donde se denotan los fenómenos de absorción detectados debidos a las altas emisiones de rayos X a las 16 hs UT.

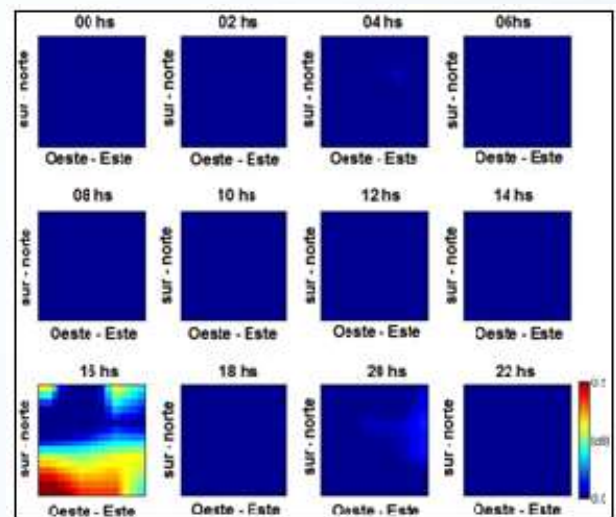


Fig. 6 Imágenes 2D de absorción cada dos horas procesado el día 13 de mayo de 2013

## Conclusiones

Se concluye que los riómetros constituyen una buena herramienta para evaluar efectos en la ionósfera baja durante eventos de actividad solar extrema, como por ejemplo las fulguraciones solares tipo X.

## Referencias

- Banks, P.M.; Kockarts, G. Aeronomy. Part A y B. New York: A.Press, 1973.
- Davies, K. Ionospheric radio. London: Peter Peregrinus, 1990.
- Hunsucker R.D. Radio Techniques for probing the terrestrial ionosphere. 1991
- Ogawa, T.; H. Mori; S. Miyazaki. Electron-density and temperature profiles in antarctic auroral ionosphere observed by sounding rockets. Journal of the Radio Research Laboratory, v.25, n.116, 1978.
- Moro J., C. Denardini, E. Correia, M. Abdu, N. Schuch, and K. Makita "A comparison of two different techniques for deriving the quiet day curve from SARINET riometer data". Ann. Geophys. 30, 2012.





Zimuda, A.J. Ionization enhancement from Van Allen electrons in the South Atlantic Magnetic Anomaly. J. of Geophysical Research, Sept. 1966.